

П. А. Рябинкина^{*}, К. А. Скороход, И. Н. Градусов

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск.

^{*}ryabinkinapolina@gmail.com

Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук А. А. Никулина.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ, ФОРМИРУЕМОЙ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ ТИТАНОМ В МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ

В данной работе представлены исследования структуры образцов углеродистой стали, легированной титаном в малых концентрациях, после изотермической выдержки. Образцы были получены методом вакуумного дугового переплава. Было выявлено, что формируется перлитная структура с аустенитно-мартенситными участками, доля которых уменьшается по мере увеличения количества легирующего элемента. Также в структуре формируются карбидные частицы, чье число растет по мере увеличения доли титана в образце. После изотермической выдержки структура образцов также состоит из перлита, мартенсита и аустенита, карбиды могут образовывать группы более двух.

Ключевые слова: перлит, легирование, титан, карбиды титана, изотермическая выдержка

P. A. Ryabinkina, K. A. Skorokhod, I. N. Gradusov

THE STRUCTURAL FEATURES OF CARBON STEEL ALLOYED WITH TITANIUM IN SMALL AMOUNTS AFTER ISOTHERMAL HOLDING

The samples of carbon steel with different concentration of titanium were received by vacuum arc melting. The structure of the sample, that alloyed with 0,1 % Ti, consists of austenite-martensite and pearlite phases, also a small amount of carbides is formed. With the increasing of alloying element's content, the amount of formed carbides increases, but the amount of austenite-martensite phase decreases. After the heat treatment the carbides may coagulate into groups.

Keywords: pearlite, alloying, titanium, titanium carbides, isothermal holding.

Введение. В металлургии нередко для улучшения механических свойств сталей используется легирование. Посредством добавления малого количества легирующего элемента возможно осуществление упрочнения микроструктурными барьерами. Суть процесса заключается в том, что в структуре при добавке определенных элементов формируются дисперсные

фазы, которые препятствуют увеличению размера зерен аустенита при нагреве, обычно частицы являются карбидами и нитридами с размерами зерна 0,5–1 мкм [1]. В данной работе было проведено исследование структуры образцов углеродистой стали, легированной титаном в различных концентрациях, после термической обработки образцов, заключающейся в ступенчатой закалке. Целью работы являлось изучение перлитной структуры стали, полученной при распаде переохлажденного с большой степенью аустенита.

Методы и материалы. Для выплавки образцов в качестве исходных материалов использовалась инструментальная сталь У8А. В качестве легирующего элемента использовался титан ВТ1-0, добавляемый в процессе выплавки в концентрациях 0,1 %, 0,3 %, 0,5 %, 0,8 % (вес.).

Выплавка образцов осуществлялась в установке для вакуумного дугового переплава (ВДП) *Arc Melter System AM*. Суть процесса ВДП заключается в непрерывном переплаве расходного электрода в вакууме, или в атмосфере защитного газа, посредством электрической дуги. Преимуществами данного метода являются точность химического состава выплавляемого материала и пониженное содержание вредных примесей [2].

Шихта для плавки состояла из стали У8А и титана, весовое соотношение компонентов предварительно рассчитывалось. Для получения наиболее равномерного распределения частиц в получаемой стали переплав производился 10 раз. Плавка осуществлялась в атмосфере аргона.

С целью создания неравновесных условий получения феррито-цементитной смеси и фиксации фронта $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения полученные после выплавки образцы нагревались до аустенитного состояния и подвергались изотермической выдержке [3]. Возможность формирования карбидов в данных сталях зависит от температуры и времени выдержки, а также от последующей термической обработки (отпуска или отжига) [4]. Образцы аустенизировали в печи *SNOL 185/1200* при температуре 1000 °С, изотермическая выдержка производилась в интервале температур 540–560 °С.

Полученные образцы до и после термической обработки исследовались с использованием микроскопов *CarlZeiss Axio Observer A1m* и *Carl Zeiss EVO 50 XVP*. Образцы для растровой электронной микроскопии и оптической металлографии представляли собой шлифы, приготовленные по стандартной технологии, включающей шлифование и полирование на алмазных суспензиях. Измерения микротвёрдости проводили на микротвердомере для проведения испытаний по Виккерсу *Model 402MVD*.

Результаты исследования. Полученные в результате выплавки образцы имеют бездефектную структуру, поры и трещины отсутствуют.

На рис. 1 представлена структура исходных образцов, преимущественно состоящая из перлита, а также мартенситно-

аустенитных зон, доля которых уменьшается по мере увеличения количества легирующего элемента. Уже при содержании 0,1 % Ti в стали формируются карбиды (рис. 2, а), наблюдается большое количество аустенита и мартенсита, а также отдельные зоны перлита. При увеличении доли легирующего элемента до 0,3 % (рис. 2, б) можно заметить, что мартенсита и аустенита становится значительно меньше, количество формируемых карбидов увеличивается. При дальнейшем повышении концентрации титана наблюдается уменьшение доли аустенита и мартенсита (рис. 2, в, г), при содержании титана 0,8 % в структуре можно увидеть феррит. Это объясняется тем, что титан, являясь более сильным карбидообразующим элементом, нежели железо, притягивает углерод, образуя карбиды, при этом близлежащие области обедняются углеродом, поэтому в первую очередь происходит формирование ферритных областей, после чего оставшиеся аустенитные области претерпевают перлитное превращение.

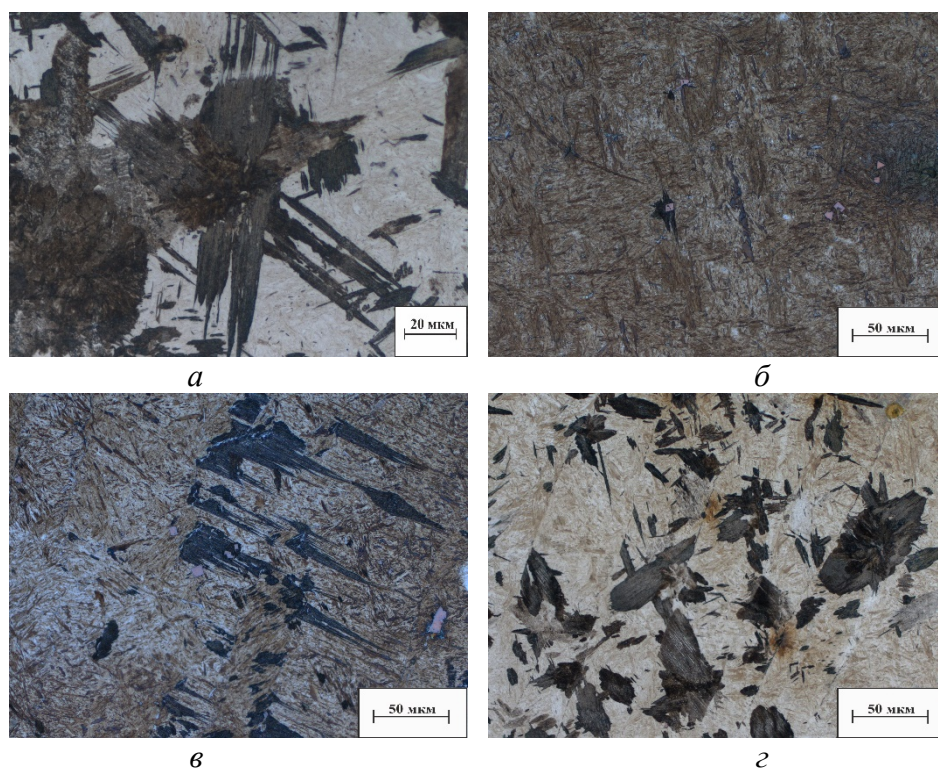


Рис. 1. Структура образцов до ТО с различным содержанием титана: а – 0,1 % Ti; б – 0,3 % Ti; в – 0,5 % Ti; г – 0,8 % Ti

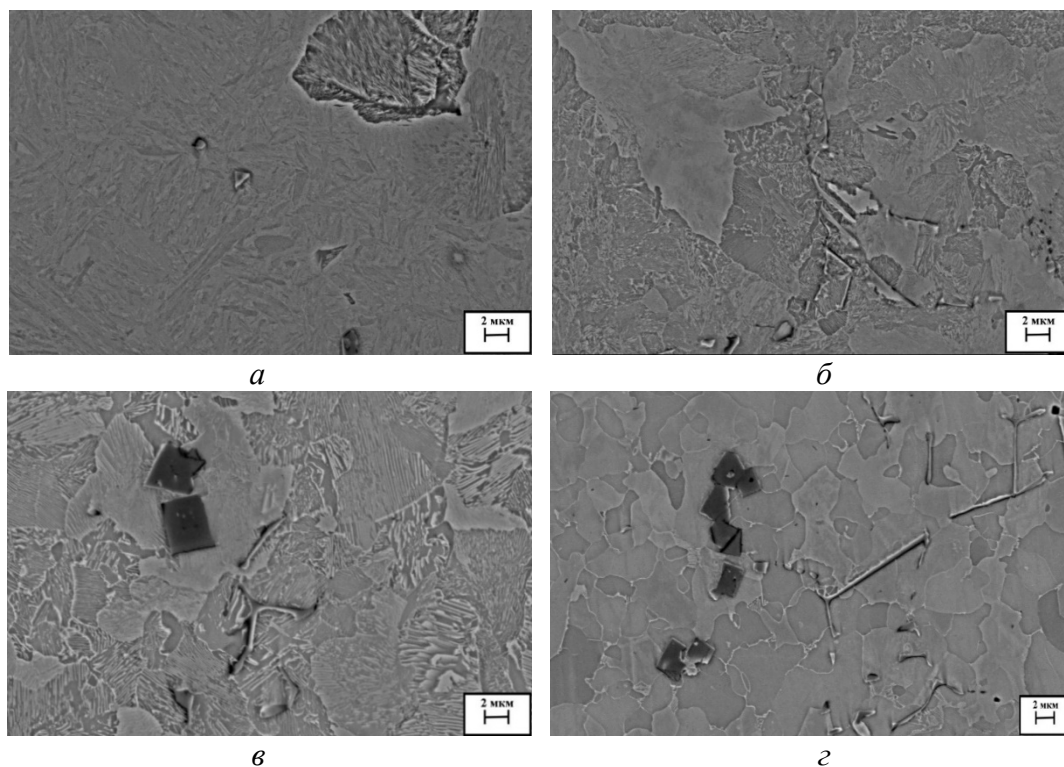


Рис. 2. Структура образцов с различным содержанием титана после ТО:
а – 0,1 % Ti; *б* – 0,3 % Ti; *в* – 0,5 % Ti; *г* – 0,8 % Ti

Проведение дюрометрических исследований показало, что с увеличением содержания титана растет уровень микротвердости образцов за счет выделения карбидов на границах зерен. Высокий уровень микротвердости, а также результаты оптической металлографии указывают на образование трооститной структуры. Максимальный уровень микротвердости зафиксирован в образцах с содержанием титана 0,5 % (рис. 3).

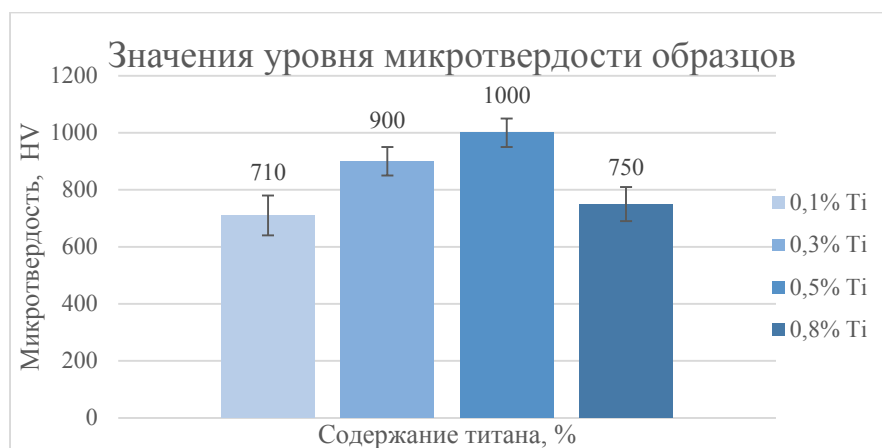


Рис.3. Значения уровня микротвердости образцов до ТО

Значения микротвердости образцов после термической обработки повышаются по мере увеличения содержания титана в стали, при содержании титана 0,5 % наблюдается наибольшее значение.

В дальнейшем планируется изучение тонкой структуры сформированного перлита посредством просвечивающей электронной микроскопии.

Выводы. В работе проведены исследования структуры углеродистой стали, легированной титаном в малых концентрациях, после изотермической выдержки. Показано, что образцы имеют до и после термической обработки преимущественно структуру тонкопластинчатого перлита, при малом количестве легирующего элемента также можно наблюдать мартенситно-аустенитные зоны. При легировании 0,1 % титана в образцах формируются карбиды, количество формируемых карбидов увеличивается по мере увеличения доли титана в образце, возможно объединение частиц в группы. Наибольшие показатели микротвердости до и после термической обработки зафиксированы у образцов, содержащих 0,5 % титана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rofes-Vernis J. Engineering steels for the automotive industry / J. Rofes-Vernis, D. Robat // International seminar «Modern developments in metallurgy and technologies of steel for automotive industry» Moscow, 2004. P. 173–180.
2. Vacuum Arc Remelting (VAR) [электронный ресурс]. URL: <http://www.ald-vt.ru/cms/fileadmin/pdf/prospekte/VAR.pdf> (дата обращения: 02.09.2017).
3. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / И. И. Новиков. Москва : Металлургия, 1986. 480 с.
4. Изотов В. И. Кинетика и кристаллогеометрия выделения карбида ванадия на межфазной границе при перлитном превращении в стали / В. И. Изотов, Н. А. Комков, Г. А. Филиппов // Физика металлов и металловедение. 2013. Т. 114. № 3. С. 279–289.